大午粉1号商品代蛋鸡育成后期（10～17周龄）饲粮中适宜代谢能和蛋白质水平的研究

张 蒙[1] 李 强[2] 刘 平[3] 许利军[4] 苏 坤[3] 王德贺[1] 周荣艳[1] 陈 辉[1*]

（1. 河北农业大学动物科技学院，保定 071000；2.河北农业大学动物医学院，保定 071000；3.河北大午农牧集团种禽有限公司，保定 071000；4.保定市畜牧工作站，保定 071000）

摘 要：本试验旨在研究育成后期（10～17周龄）饲粮代谢能和蛋白质水平对大午粉1号商品代蛋鸡生长性能、器官指数、小肠发育以及产蛋高峰期生产性能和蛋品质的影响；通过建立饲粮代谢能和蛋白质水平与所检测指标之间的回归模型，得到育成后期大午粉1号商品代蛋鸡饲粮中适宜的代谢能和蛋白质水平。本研究共包括2个试验。试验1：随机选取810只64日龄蛋鸡，将其随机分为9组，每组6个重复，每个重复15只。采用3[代谢能水平：11.77（高）、11.27（中）、10.77 MJ/kg（低）]×3[蛋白质水平：16.50%（高）、15.50%（中）、14.50%（低）]试验设计，共配制9种试验饲粮，分别饲喂上述9组试验鸡，试验期8周（10～17周龄）。试验2：试验鸡的分组情况保持不变，所有试验鸡饲喂同一饲粮（代谢能水平：10.91 MJ/kg；蛋白质水平：15.98%），试验期14周（18～31周龄）。试验1结果显示：1）饲粮代谢能水平对蛋鸡平均日采食量（ADFI）、料重比（F/G）和胫骨长有显著影响（$P<0.05$）；饲粮蛋白质水平对蛋鸡ADFI和胫骨长有显著影响（$P<0.05$）；饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应对蛋鸡ADFI、平均日增重（ADG）和F/G均有显著影响（$P<0.05$）。2）饲粮代谢能和蛋白质水平及二者的互作效应对蛋鸡各器官指数均无显著影响（$P>0.05$）。3）饲粮代谢能水平对蛋鸡空肠、十二指肠、小肠长度有显著影响（$P<0.05$）；饲粮代谢能和蛋白质

收稿日期：2018-03-27

基金项目：国家蛋鸡产业技术体系（CARS-40-K20，CARS-40-S04）；保定市科学研究与发展计划项目（14ZN021）

作者简介：张 蒙（1989-），女，河南三门峡人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail： 1006387893@qq.com

*通信作者：陈 辉，副教授，E-mail：531613107@qq.com

水平的互作效应对蛋鸡空肠和小肠长度有显著影响（P<0.05）。试验 2 结果显示：1）育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平对蛋鸡产蛋高峰期生产性能均没有显著影响（P>0.05），随着育成后期饲粮代谢能水平的升高，蛋鸡产蛋高峰期 ADFI 呈下降趋势；育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应对蛋鸡产蛋高峰期 ADFI、平均日产蛋量、料蛋比（F/E）有显著影响（P<0.05）。2）育成后期蛋鸡饲粮代谢能水平对蛋鸡产蛋高峰期蛋黄颜色和蛋形指数有显著影响（P<0.05）；育成后期蛋鸡饲粮蛋白质水平对蛋鸡产蛋高峰期蛋黄颜色有显著影响（P<0.05）；育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应对蛋鸡产蛋高峰期蛋壳厚度和蛋形指数有显著影响（P<0.05）。通过对育成后期 ADFI、F/G 以及空肠、十二指肠、小肠长度和蛋黄颜色进行二次曲线拟合，得出大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮中适宜代谢能水平分别为 10.902、10.720、11.404、11.446、11.374 和 11.760 MJ/kg；通过对育成后期胫骨长进行二次曲线拟合，得出大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮中适宜蛋白质水平为 15.300%。综合上述指标，推荐育成后期（10～17 周龄）大午粉 1 号商品代蛋鸡饲粮中代谢能水平为 10.720～11.760 MJ/kg，蛋白质水平为 15.300%。

关键词：大午粉 1 号商品代蛋鸡；代谢能；蛋白质；育成后期；产蛋高峰期

中图分类号：S816　　　　　　文献标识码：A　　　　　　文章编号：

蛋鸡育成后期的质量与其产蛋期的生产性能密切相关[1]。育成后期是蛋鸡消化能力日益健全、骨骼发育旺盛的时期，饲粮中的营养素水平直接关系后备鸡的质量。有研究表明饲粮能量水平能显著影响蛋鸡对饲粮中营养素的摄入量[2]，能量水平偏高易诱发蛋鸡易感脂肪肝出血型综合征[3]，能量水平偏低将减少蛋鸡的啄羽行为[4]，且有研究表明育成后期蛋鸡饲粮中能量水平能显著影响产蛋期卵巢促卵泡素受体（*FSHR*）mRNA 的表达量[5]；饲粮中蛋白质水平偏高时，蛋鸡啄羽和采食行为降低，趴窝和修饰行为显著增加[6]，蛋白质水平降低后盲肠前段对磷的消化吸收率降低[7]，排泄物中氮的含量显著下降[8]；此外，饲粮中代谢能和

蛋白质水平的互作效应能显著影响蛋鸡消化器官和肠道的形态[9]。家禽生产中，饲料成本约占总成本的 75%[10]，精确饲粮中营养素水平是降低家禽生产成本的主要途径之一[11]。大午粉 1 号商品代蛋鸡产蛋率高、抗逆性强，是 2013 年我国自由培育的蛋鸡品种，因此，确定其育成后期饲粮中适宜的代谢能和蛋白质水平具有重要意义。目前针对育成后期蛋鸡饲粮中能量和蛋白质适宜水平的研究众多，但不同的鸡品种不尽相同。研究显示，红腹锦鸡饲粮中适宜的能量水平为 12.14 MJ/kg，蛋白质水平为 18.75%[12]；珍珠鸡饲粮中适宜的能量水平为 12.96~13.38 MJ/kg，蛋白质水平 19%~21%[13]；略阳乌鸡饲粮中适宜的能量水平为 12.43 MJ/kg，蛋白质水平 17.18%~17.52%[14]；固始鸡饲粮中适宜的能量水平为 12.74 MJ/kg，蛋白质水平 16.03%[15]；海兰灰饲粮中适宜的能量水平为 11.60 MJ/kg，蛋白质水平 16.03%[16]。van Wyhe 等[17]研究表明，蛋鸡饲粮中代谢能和蛋白质水平为 NRC（1994）推荐标准的 60%时，蛋鸡的生长减缓，骨硬度增加。本试验以大午粉 1 号商品代蛋鸡为研究对象，研究育成后期饲粮中代谢能和蛋白质水平以及二者的互作效应对大午粉 1 号商品代蛋鸡生长性能、器官指数、小肠发育以及产蛋高峰期产蛋性能和蛋品种的影响，通过回归方程确定其育成后期饲粮中代谢能和蛋白质的适宜水平，为其营养标准的制订提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与分组

选取 810 只体重接近、健康状态良好、遗传背景相同的 64 日龄大午粉 1 号商品代蛋鸡，随机分为 9 组，每组 6 个重复，每个重复 15 只。本研究共分为 2 个试验。试验 1：采用 2 因子（代谢能和蛋白质水平）3 水平[代谢能水平：11.77（高）、11.27（中）、10.77 MJ/kg（低）；蛋白质水平：16.50%（高）、15.50%（中）、14.50%（低）]试验设计，共配制 9 种试验饲粮，即高能高蛋白质饲粮（Ⅰ组）、高能中蛋白质饲粮（Ⅱ）、高能低蛋白质饲粮（Ⅲ组）、中能高蛋白质饲粮（Ⅳ组）、中能中蛋白质饲粮（Ⅴ组）、中能低蛋白质饲粮（Ⅵ）、低能高蛋白

质饲粮（Ⅶ组）、低能中蛋白质饲粮（Ⅷ组）和低能低蛋白质饲粮（Ⅸ），分别饲喂上述 9 组试验鸡。试验饲粮均为粉料，饲粮中代谢能和蛋白质水平之外的其他营养素水平保持一致，试验期为 8 周（10～17 周龄）。试验饲粮组成及营养水平见表 1。试验 2：保持试验 1 的分组情况，所有的试验鸡均饲喂相同试验饲粮，试验期共 14 周（18～31 周龄）。试验饲粮组成及营养水平见表 2。

1.2　饲养管理

饲养试验于河北大午农牧集团国家蛋鸡种禽良种扩繁推广基地进行。蛋鸡在纵向通风的密闭鸡舍中采用 A 字型 3 层全阶笼养（45 cm×40 cm×45 cm），每笼 3 只。鸡舍内温度维持在 10~25 ℃、相对湿度为 55%~70%、光照强度为 10 lx，光照时间为 10 h。鸡舍内每天 10:00 和 16:00 清粪。试验期间采用人工喂料模式，蛋鸡可自由采食和饮水。

表 1　10～17 周龄试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets for 10 to 17 weeks of age (air-dry basis)　　%

项目 Items	组别 Groups								
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
原料 Indredients									
玉米 Corn	58.53	57.76	59.52	61.24	58.27	59.85	60.31	58.32	59.91
家禽油 Poultry fat	4.00	4.50	4.30	1.70	2.70	2.60	0.00	1.10	1.10
大豆粕 Soybean meal	20.40	23.10	16.90	20.60	22.70	15.80	21.30	22.10	15.80
棉籽粕 Cottonseed meal	2.60			2.20			0.80		
花生粕 Peanut meal	2.40			2.40			2.40		
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	1.20	0.80	2.20	1.00	0.50	2.20		0.10	2.20
玉米胚芽粕 Corn gern meal		2.90	5.80		4.90	8.00	0.40	7.50	8.00
干酒糟及其可溶物 DDGS							4.00		
石粉 Limestone	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	9.00	8.90	8.90	9.00

磷酸氢钙 $Ca(HCO_3)_2$	0.95	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	0.90	0.95	1.00
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
沸石粉 Zeolite powder						0.14			1.58
赖氨酸 Lys（70%）	0.16	0.17	0.40	0.16	0.16	0.42	0.15	0.16	0.42
蛋氨酸 Met（99%）	0.17	0.18	0.20	0.17	0.18	0.20	0.16	0.18	0.20
苏氨酸 Thr	0.05	0.05	0.11	0.04	0.05	0.12	0.04	0.05	0.12
色氨酸 Try			0.03			0.03			0.03
枯草乳酸杆菌 *Bacillus subtills*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
乙氧基喹啉 Ethoxquin	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
低温植酸酶 Low temperature phytase（250 U/kg）	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
多维 Multi-vitamins[1)]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
微量元素 Trace elements[1)]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
胆碱 Choline	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
合计 Total	100.00	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]									
粗蛋白质 CP	16.54	15.49	14.50	16.50	15.53	14.46	16.49	15.51	14.46
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.76	11.77	11.77	11.27	11.26	11.26	10.77	10.77	10.75
钙 Ca	3.49	3.5	3.48	3.49	3.5	3.52	3.49	3.49	3.52
磷 P	0.48	0.48	0.46	0.49	0.48	0.47	0.49	0.48	0.47
有效磷 AP	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
食盐 NaCl	0.33	0.32	0.32	0.33	0.32	0.32	0.41	0.32	0.32
粗灰分 Ash	12.31	12.4	12.23	12.33	12.49	12.54	12.41	12.56	13.94
粗脂肪 EE	6.48	6.99	6.87	4.29	5.24	5.22	2.93	3.68	3.74
总赖氨酸 Total Lys	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
总蛋氨酸 Total Met	0.41	0.41	0.42	0.41	0.41	0.42	0.41	0.41	0.42

[1)] 多维和微量元素为每千克饲粮提供 Multi-vitamin and trace elements provided the following per kg of diets：VA 11 700 IU，VD$_3$ 3 600 IU，VE 21 IU，VK$_3$ 4.2 mg，硫胺素 thiamine 3 mg，VB$_1$ 10.2 mg，叶酸 folic acid 0.9 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 15 mg，烟酸 nicotinic acid 45 mg，吡哆醇 pyridoxine 5.4 mg，VB$_{12}$ 24 μg，生物素 biotin 150 μg，Cu 6.8 mg，Fe 66 mg，Zn 83 mg，Mn 80 mg，I 1 mg。表 2 同 The same as Table 2。

[2)] 饲粮中营养水平除粗蛋白质外均为计算值。表 2 同。Nutrient levels of diets were all calculated values, expect for the CP. The same as Table 2.

表 2 18~31 周龄试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of the experimental diet for 18 to 31 weeks of age

(air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	62.61
大豆粕 Soybean meal	24.00
棉籽粕 Cottonseed meal	1.20
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	0.20
石粉 Limestone	9.00
磷酸氢钙 $Ca(HCO_3)_2$	0.90
食盐 NaCl	0.30
沸石粉 Zeolite powder	1.24
蛋氨酸 Met （99%）	0.21
枯草乳酸杆菌 *Bacillus subtills*	0.01
乙氧基喹啉 Ethoxquin	0.01
植酸酶 Phytase(低温 250U/Kg)	0.01
多维 Multi-vitamin[1)]	0.03
微量元素 Trace elements[1)]	0.20
胆碱 Choline	0.08
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
粗蛋白质 CP	15.98
代谢能 ME/(MJ/kg)	10.91
钙 Ca	3.63
磷 P	0.48
有效磷 AP	0.27
食盐 NaCl	0.34
粗灰分 Ash	13.88
粗脂肪 EE	2.69
总赖氨酸 Total Lys	0.80
总蛋氨酸 Total Met	0.45

1.3 指标测定

1.3.1 育成后期生长性能的测定以及产蛋高峰期生产性能和蛋品质的测定

试验期间，每天记录死淘情况。试验 1：以周为时间单位，每周最后 1 天 20:00 清理料槽，禁食不禁水，以重复为单位统计耗料量，计算 10~17 周龄蛋鸡平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。每周第 1 天 08:00，每个重复选取 5 只育成鸡测量体重、胫骨长、胸宽和龙骨长，并记录。试验 2：蛋鸡 27~31 周龄时每天 16:00—16:30 以重复为单位捡蛋，记录产蛋数，以重复为单位统计蛋鸡耗料量和产蛋量，计算 27~31 周龄蛋鸡

ADFI、平均日产蛋量、产蛋率及料蛋比（F/E）。蛋鸡 189、196、203 和 210 日龄时，每个重复随机取 2 枚鸡蛋测定蛋品质。蛋重、蛋白高度、蛋黄颜色、哈氏单位均由 SONOVA 蛋品质分析仪检测，蛋壳强度由蛋壳强度分析仪检测，蛋壳厚度由蛋壳厚度分析仪检测。蛋形指数、蛋黄比例和蛋白比例通过计算得出，计算公式如下：

蛋形指数=蛋的纵径长/蛋的横径长；

蛋黄比例=（蛋黄重/蛋重）×100；

蛋壳比例=（蛋壳重/蛋重）×100。

1.3.2　器官指数

蛋鸡 119 日龄时，每个重复随机抽取 1 只蛋鸡屠宰，分离心脏、肝脏、脾脏、胸腺、胰腺、法氏囊，去除其上附着的脂肪组织，用滤纸吸干血水后称重，计算器官指数；分离十二指肠、空肠、回肠，用精确度为 0.01 m 的米尺测量长度后计算其相对长度。

器官指数（%）=（器官重/屠体重）×100；

某肠段相对长度（%）=（该肠段长度/小肠总长）×100。

1.3.3　饲粮样品测定

饲粮中粗蛋白质含量采用 GB/T 6432—94 中凯氏定氮法测定。

1.4　数据分析

试验数据用 Excel 2016 整理后，采用 SPSS 22.0 单因素方差分析（one-way ANOVA）程序处理数据，采用一般线性模型（GLM）程序中多变量模型进行主效应和互作效应分析，各组间采用 LSD 多重比较法进行差异显著性分析，以 $P<0.05$ 为差异显著。互作效应显著时通过回归程序中曲线估计建立多元线性方程，互作效应不显著、主效应显著时拟合关于主效应的二次方程，曲线达到二次显著效应时，根据所得二次函数性质求出获得最大效应值时，的饲粮代谢能和蛋白质水平，即为饲粮适宜代谢能和蛋白质水平。

2　结果与分析

2.1　饲粮代谢能和蛋白质水平对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡生长性能的影响

由表 3 可知，Ⅰ组蛋鸡的胸宽显著高于Ⅸ和Ⅷ组（$P<0.05$）；Ⅴ组蛋鸡的胫骨长显著低于代谢能水平为 11.77 和 10.77 MJ/kg 的各组（$P<0.05$）；Ⅱ组蛋鸡的 ADFI、F/G 显著低于Ⅷ和Ⅶ组（$P<0.05$）。饲粮代谢能水平对蛋鸡的胸宽、龙骨长、体重、ADG 没有显著影响（$P>0.05$），但能显著影响蛋鸡 ADFI、F/G、胫骨长（$P<0.05$）,且随着饲粮代谢能水平的升高，蛋鸡 ADFI、F/G 呈下降的趋势，且中能和低能组显著高于高能组（$P<0.05$）。饲粮蛋白质水平对蛋鸡胫骨长、ADFI 有显著影响（$P<0.05$），且低蛋白质水平组蛋鸡 ADFI 显著高于中、高蛋白质水平组（$P<0.05$），对所测的其他生长性能指标均没有显著影响（$P>0.05$）。饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡的 ADFI、ADG、F/G 均有显著影响（$P<0.05$）。

2.2　育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平对产蛋高峰期大午粉 1 号商品代蛋鸡生产性能的影响

由表 4 可知，Ⅰ和Ⅱ组蛋鸡产蛋高峰期 ADFI 显著低于Ⅸ组（$P<0.05$）；Ⅱ组蛋鸡产蛋高峰期的 F/E 显著高于Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ和Ⅸ组（$P<0.05$）；Ⅱ组蛋鸡产蛋高峰期的产蛋率显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），与其他组则无显著差异（$P>0.05$）。育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平对蛋鸡产蛋高峰期的生产性能均无显著影响（$P>0.05$），随着育成后期饲粮代谢能水平的升高，蛋鸡产蛋高峰期 ADFI 呈下降趋势。育成后期蛋鸡饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应显著影响蛋鸡产蛋高峰期 ADFI、平均日产蛋量及 F/E（$P<0.05$）。

2.3　育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平对产蛋高峰期大午粉 1 号商品代蛋鸡蛋品质的影响

由表 5 可知，Ⅰ组蛋鸡产蛋高峰期蛋壳强度显著高于Ⅶ组（$P<0.05$）。Ⅳ组蛋鸡产蛋高峰期蛋重显著高于Ⅴ组（$P<0.05$）。Ⅴ组蛋鸡产蛋高峰期的蛋白高度显著低于Ⅰ和Ⅴ组（P

＜0.05）。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ及Ⅳ组蛋鸡产蛋高峰期蛋黄颜色显著高于Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ组（*P*＜0.05）。育成后期饲粮代谢能水平能显著影响蛋鸡产蛋高峰期蛋黄颜色和蛋形指数（*P*＜0.05），且蛋黄颜色随着饲粮代谢能水平的升高而显著升高（*P*＜0.05），但对所检测的其他蛋品质指标没有显著影响（*P*＞0.05）。育成后期饲粮蛋白质水平对蛋鸡产蛋高峰期蛋黄颜色有显著影响（*P*<0.05），但对所检测的其他蛋品质指标没有显著影响（*P*＞0.05）。育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应显著影响蛋鸡产蛋高峰期的蛋壳厚度和蛋形指数（*P*＜0.05），但对所检测其他蛋品质指标没有显著影响（*P*＞0.05）。

表 4　育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平对产蛋高峰期大午粉 1 号商品代蛋鸡生产性能的影响

Table 4　Effects of dietary ME and protein levels in later growing period on performance of *Dawufen* No.1 commercial-layer during laying peak period

项目 Items		平均日采食量 ADFI (g/d)	平均日产蛋量 Average egg production/(g/d)	料蛋比 F/E	产蛋率 Laying rate/%
组别 Groups	Ⅰ	121.29±9.42[a]	41.27±7.27	2.99±0.41[bc]	79.38±13.27[a]
	Ⅱ	120.08±5.25[a]	50.16±5.19	2.42±0.26[a]	92.42±8.72[b]
	Ⅲ	128.16±8.69[ab]	40.74±7.89	3.27±0.78[c]	80.10±12.85[ab]
	Ⅳ	129.54±10.13[abc]	43.41±4.54	3.01±0.36[abc]	86.50±6.63[ab]
	Ⅴ	139.68±13.27[bc]	42.80±6.26	3.29±0.25[c]	88.73±13.39[ab]
	Ⅵ	119.35±9.13[a]	47.51±5.46	2.53±0.30[b]	88.91±9.08[ab]
	Ⅶ	119.07±14.09[a]	46.40±2.77	2.57±0.30[ab]	88.76±4.65[ab]
	Ⅷ	134.39±21.46[abc]	45.57±4.51	2.95±0.37[abc]	87.02±8.67[ab]
	Ⅸ	145.92±18.36[c]	40.74±7.79	3.70±0.85[c]	87.70±1.54[ab]
主效应 Main effects					

代谢能水平	高 High	123.18±8.35	44.06±7.84	2.89±0.62	83.97±12.68
ME level	中 Medium	129.53±13.39	44.57±5.57	2.94±0.43	88.05±9.55
	低 Low	133.13±20.52	44.24±5.72	3.07±0.72	87.83±5.45
蛋白质水平	高 High	123.30±11.67	43.69±5.34	2.86±0.40	84.88±9.38
Protein level	中 Medium	131.39±16.37	46.18±5.93	2.89±0.46	89.39±10.13
	低 Low	131.14±16.58	43.00±7.46	3.17±0.82	85.57±9.47
P 值 *P*-value					
代谢能水平 ME level		0.081	0.966	0.515	0.363
蛋白质水平 Protein level		0.121	0.254	0.115	0.322
代谢能水平×蛋白质水平 ME level×protein level		0.006	0.028	<0.001	0.296

149

表 3　饲粮代谢能和蛋白质水平对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of dietary ME and protein levels on growth performance of *Dawufen* No.1 commercial-layer hens in later growing period

项目 Items		胸宽 Chest breadth/mm	龙骨长 Keel length/mm	胫骨长 Tibia length/mm	体重 Body weight/g	平均日增重 ADG/(g/d)	平均日采食量 ADFI/(g/d)	料重比 F/G
组别 Groups	Ⅰ	75.45±3.54^{b}	110.64±2.87	104.22±1.23^{b}	1 673.97±149.73	11.58±1.53	85.62±5.67^{ab}	7.53±1.37^{abc}
	Ⅱ	71.15±3.67^{ab}	105.58±6.33	104.90±1.98^{b}	1 741.63±177.09	12.13±1.55	80.99±16.56^{a}	6.74±1.48^{a}
	Ⅲ	73.25±3.09^{ab}	107.26±5.58	104.51±5.47^{b}	1 749.30±187.67	12.66±1.83	87.35±3.38^{ab}	7.04±1.15^{ab}
	Ⅳ	71.80±3.16^{ab}	107.36±4.11	102.99±3.68^{ab}	1 748.73±177.01	12.54±1.72	109.09±10.57^{d}	8.80±1.31^{cd}
	Ⅴ	73.54±4.17^{ab}	106.94±6.29	99.37±3.21^{a}	1 696.33±114.73	11.50±0.73	107.87±5.90^{cd}	9.39±0.47^{b}
	Ⅵ	71.31±3.23^{ab}	106.89±3.93	102.81±3.54^{ab}	1 714.23±114.27	11.75±0.79	99.24±7.53^{bcd}	8.45±0.53^{bcd}
	Ⅶ	72.77±2.02^{ab}	110.14±2.56	103.84±2.20^{b}	1 707.67±172.96	11.68±3.86	94.60±10.86^{abc}	8.39±1.53^{bcd}
	Ⅷ	70.84±2.98^{a}	110.99±4.14	105.28±4.18^{b}	1 744.47±161.72	12.06±1.61	102.26±7.76^{cd}	8.57±1.12^{bcd}
	Ⅸ	70.84±3.43^{a}	108.76±1.00	104.92±2.22^{b}	1 727.87±135.51	12.01±0.76	135.36±19.46^{e}	11.32±1.86^{d}
主效应 Main effects								

代谢能水平 ME level	高 High	73.28±3.70	107.83±5.30	104.54±3.24[b]	1 721.63±173.66	12.12±1.68	84.66±10.06[a]	7.10±1.31[a]
	中 Medium	72.22±3.48	107.06±4.60	101.72±3.69[a]	1 719.77±138.68	11.93±1.24	105.40±8.95[b]	8.88±0.90[b]
	低 Low	71.48±2.85	109.97±2.86	104.68±2.90[b]	1 726.67±156.47	11.92±2.44	110.74±22.24[b]	9.42±1.99[b]
蛋白质水平 Protein level	高 High	73.34±3.21	109.38±3.39	103.68±2.48[b]	1 710.12±167.95	11.93±2.60	96.44±13.25[a]	8.24±1.43
	中 Medium	71.84±3.64	107.84±5.84	103.18±4.13[a]	1 727.48±153.37	11.90±1.37	97.04±15.85[a]	8.23±1.54
	低 Low	71.80±3.24	107.64±3.84	104.08±3.85[b]	1 730.47±148.07	12.14±1.28	107.32±23.93[b]	8.94±2.20
P 值 *P*-value								
代谢能水平 ME level		0.264	0.530	0.034	0.954	0.704	<0.001	<0.001
蛋白质水平 Protein level		0.267	0.136	0.016	0.643	0.632	0.007	0.179
代谢能水平×蛋白质水平 ME level×protein level		0.289	0.440	0.721	0.212	0.037	<0.001	0.003

同列数据肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)，相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P>0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

表 5　育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平对产蛋高峰期大午粉 1 号商品代蛋鸡蛋品质的影响

Table5　Effects of dietary ME and protein levels in later growing period on egg quality of *Dawufen* No.1 commercial-layer during laying peak period

项目 Items		蛋壳强度 Eggshell strength	蛋重 Egg weight	蛋白高度 Albumen height,	蛋黄颜色 Yolk color	哈氏单位 Haugh unit	蛋壳厚度 Eggshell thickness	蛋形指数 Egg shape index	蛋壳比率 Eggshell percentage/%	蛋黄比率 Yolk percentage/%
组别 Groups	I	46.51±9.17[c]	63.12±6.11[ab]	6.34±0.11[b]	7.40±0.55[b]	78.06±2.17[b]	0.33±0.05	1.28±0.02	12.11±1.20	28.24±1.71

	Ⅱ	42.71±5.00^{abc}	61.80±5.83^{ab}	5.82±0.89^{ab}	7.00±1.10^{b}	74.42±5.88^{b}	0.35±0.01	1.32±0.04	12.95±0.82	27.95±2.24
	Ⅲ	35.40±8.46^{ab}	59.80±3.55^{ab}	5.93±0.99^{ab}	6.83±1.60^{b}	76.20±6.13^{b}	0.33±0.03	1.34±0.03	12.92±0.91	29.43±1.55
	Ⅳ	36.36±7.66^{abc}	67.12±5.86^{a}	4.98±1.05^{a}	6.83±0.98^{b}	64.05±13.44^{a}	0.35±0.33	1.35±0.04	12.35±1.22	27.40±1.11
	Ⅴ	38.86±4.75^{abc}	62.42±4.15^{b}	6.48±0.52^{b}	5.17±0.98^{a}	79.25±4.78^{b}	0.35±0.01	1.32±0.02	12.95±0.67	28.93±1.88
	Ⅵ	41.48±5.15^{abc}	60.60±4.54^{ab}	5.88±0.60^{ab}	5.00±0.00^{a}	75.77±3.78^{b}	0.34±0.02	1.30±0.02	13.17±2.23	28.74±3.01
	Ⅶ	31.74±16.41^{a}	59.68±5.09^{ab}	5.76±0.79^{ab}	4.60±0.55^{a}	74.78±6.60^{b}	0.33±0.03	1.31±0.08	12.49±1.70	28.34±2.36
	Ⅷ	41.78±4.78^{abc}	59.27±3.23^{ab}	5.38±1.48^{ab}	4.33±0.82^{a}	70.98±11.79^{ab}	0.34±0.02	1.33±0.02	13.75±0.60	27.98±0.61
	Ⅸ	41.22±2.68^{abc}	60.23±3.39^{ab}	5.98±0.48^{ab}	4.83±0.41^{a}	76.42±4.32^{b}	0.35±0.01	1.35±0.03	13.07±1.03	28.89±0.88
主效应 Main effects										
代谢能水平 ME level	高 High	41.25±8.57	61.48±5.08^{ab}	6.01±0.78	7.06±1.14^{a}	76.12±5.10	0.34±0.03	1.31±0.04^{a}	12.69±0.99	28.58±1.88
	中 Medium	38.90±6.03	63.38±5.40^{a}	5.78±0.96	5.67±1.14^{b}	73.02±10.43	0.35±0.02	1.33±0.04^{b}	12.82±1.47	28.41±2.17
	低 Low	38.24±10.51	59.73±3.68^{b}	5.71±0.99	4.58±0.62^{c}	74.02±8.12	0.34±0.02	1.33±0.05^{b}	13.14±1.20	28.41±1.38
蛋白质水平 Protein level	高 High	37.71±12.72	63.54±6.20	5.65±0.94	6.31±1.40^{a}	71.78±10.64	0.34±0.03	1.31±0.06	12.32±1.29	27.98±1.72
	中 Medium	41.11±4.85	61.16±4.48	5.89±1.08	5.50±1.47^{b}	74.88±8.36	0.35±0.01	1.32±0.02	13.22±0.77	28.29±1.68
	低 Low	39.37±6.27	60.21±3.64	5.93±0.68	5.56±1.29^{b}	76.13±4.56	0.34±0.02	1.33±0.03	13.05±1.42	29.02±1.92
P 值 *P*-value										
代谢能水平 ME level		0.600	0.121	0.569	<0.001	0.690	0.345	0.037	0.779	0.957

蛋白质水平 Protein level	0.369	0.159	0.897	0.039	0.566	0.417	0.833	0.285	0.279
代谢能水平×蛋白质水平 ME level×protein level	0.089	0.614	0.133	0.145	0.096	0.033	0.001	0.869	0.698

2.4 饲粮代谢能和蛋白质水平对育成后期蛋鸡器官重及器官指数的影响

由表 6 可知，所检测的育成后期蛋鸡器官指数各组间均无显著差异（$P>0.05$），且饲粮中代谢能、蛋白质水平及二者的互作效应对所检测的育成后期蛋鸡器官指数均无显著影响（$P>0.05$）。

表 6　饲粮代谢能和蛋白质水平对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡器官重及器官指数的影响

Table 6　Effects of dietary ME and protein levels on organ weight and organ indexes of *Dawufen* No.1 commercial-layer hens in later growing period

项目 Items		心脏重 Heart weight/g	心脏指数 Heart index	肝脏重 Liver weight/g	肝脏指数 Liver index	胰脏重 Pancreas weight/g	胰脏指数 Pancreas index	脾脏重 Spleen weight/g	脾脏指数 Spleen index	法氏囊重 Bursa of Fabricius weight/g	法氏囊指数 Bursa of Fabricius index
组别 Groups	Ⅰ	7.18±0.55	0.46±0.04	30.45±4.13	1.93±0.31	3.29±0.27	0.21±0.02	3.33±0.66	0.21±0.04	0.98±0.57	0.06±0.04
	Ⅱ	7.08±0.39	0.42±0.02	31.97±6.53	1.89±0.35	2.86±0.46	0.17±0.03	3.58±1.14	0.21±0.07	1.40±1.20	0.08±0.07
	Ⅲ	7.05±1.26	0.44±0.05	30.41±3.43	1.92±0.23	3.33±0.51	0.21±0.03	3.11±0.58	0.19±0.03	1.00±0.51	0.06±0.03
	Ⅳ	7.62±1.52	0.47±0.07	31.79±5.87	1.97±0.29	2.97±0.32	0.18±0.01	2.62±0.84	0.16±0.05	0.99±0.37	0.06±0.03
	Ⅴ	6.83±0.90	0.41±0.02	32.96±5.58	1.99±0.31	3.30±0.54	0.20±0.03	2.85±0.79	0.18±0.08	1.23±0.04	0.08±0.01
	Ⅵ	7.11±1.29	0.46±0.10	29.21±3.29	1.89±0.18	3.58±0.35	0.23±0.01	3.32±1.14	0.21±0.07	1.27±0.68	0.08±0.05
	Ⅶ	7.88±1.43	0.48±0.07	29.38±4.19	1.79±0.22	3.29±1.44	0.21±0.03	3.29±1.44	0.20±0.09	1.04±0.59	0.06±0.04
	Ⅷ	6.62±1.29	0.43±0.08	30.71±5.72	1.99±0.23	3.19±0.40	0.21±0.02	2.61±0.66	0.17±0.03	0.94±0.83	0.06±0.05

	Ⅸ	6.76±0.89	0.47±0.11	27.16±3.84	1.89±0.40	2.85±0.58	0.20±0.04	3.27±1.39	0.23±0.12	1.22±0.75	0.08±0.06
主效应 Main effects											
代谢能水平 ME level	高 High	7.11±0.78	0.44±0.04	30.94±4.65	1.91±0.28	3.16±0.45	0.20±0.03	3.34±0.80	0.21±0.05	1.13±0.79	0.07±0.05
	中 Medium	7.19±1.23	0.45±0.07	31.32±5.01	1.95±0.25	3.28±0.46	0.21±0.03	2.93±0.93	0.19±0.07	1.16±0.44	0.07±0.03
	低 Low	7.09±1.29	0.46±0.08	29.08±4.83	1.89±0.29	3.13±0.48	0.20±0.03	3.06±1.19	0.20±0.09	1.06±0.70	0.07±0.05
蛋白质水平 Protein level	高 High	7.56±1.21	0.47±0.06^{b}	30.54±4.83	1.90±0.27	3.21±0.41	0.20±0.02	3.08±1.03	0.19±0.06	1.00±0.49	0.06±0.03
	中 Medium	6.85±0.90	0.42±0.05^{a}	31.88±5.68	1.95±0.28	3.12±0.48	0.19±0.03	3.01±0.93	0.19±0.06	1.19±0.82	0.07±0.05
	低 Low	6.97±1.10	0.46±0.08^{ab}	28.93±3.59	1.90±0.27	3.25±0.55	0.21±0.03	3.23±1.03	0.21±0.08	1.16±0.62	0.08±0.04
P 值 *P*-value											
代谢能水平 ME level		0.963	0.575	0.354	0.820	0.569	0.548	0.469	0.672	0.907	0.948
蛋白质水平 Protein level		0.137	0.101	0.211	0.787	0.667	0.089	0.801	0.472	0.675	0.660
代谢能水平×蛋白质 ME level×protein level		0.751	0.985	0.967	0.829	0.768	0.476	0.485	0.555	0.782	0.753

2.5　饲粮代谢能和蛋白质水平对育成后期蛋鸡小肠发育的影响

由表 7 可知，Ⅴ组蛋鸡的回肠、空肠、小肠长度及空肠相对长度显著高于Ⅷ组（P＜0.05）。饲粮代谢能水平显著影响蛋鸡的空肠、十二指肠、小肠长度，对其他所检测的肠道发育指标均没有显著的影响（P＞0.05）。低能组蛋鸡的十二指肠长度显著低于中能组（P＜0.05）。饲蛋白质水平对所检测的肠道发育指标均没有显著影响（P＞0.05）。饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应显著影响蛋鸡的空肠和小肠长度(P＜0.05)，对其他所检测的指标没有显著影响（P＞0.05）。

表 7　饲粮代谢能和蛋白质水平对育成期后期大午粉 1 号商品代蛋鸡小肠发育的影响

Table 7　Effects of dietary ME and protein levels on intestine development of *Dawufen* No.1 commercial-layer hens in later growing period

项目 Items		空肠长度 Jejunum length/cm	回肠长度 Ileum length/cm	十二指肠长度 Duodenum length/cm	小肠长度 Small intestine length/cm	空肠相对长度 Jejunum relative length/%	回肠相对长度 Ileum relative length/%	十二指肠相对长度 Duodenum relative length/%
组别 Groups	Ⅰ	56.83±5.08^{ab}	47.92±3.87^{de}	22.87±1.58^{b}	127.62±9.51^{ab}	44.51±1.50^{ab}	37.55±1.26	17.94±0.88
	Ⅱ	46.27±5.15^{ab}	40.48±5.60^{abc}	19.00±2.97^{a}	105.75±9.38^{ab}	43.70±2.11^{ab}	38.32±4.19	17.98±2.31
	Ⅲ	53.62±5.14^{ab}	38.87±17.72^{cde}	20.00±2.77^{ab}	112.48±19.68^{b}	48.72±8.88^{b}	32.88±13.66	18.40±5.09
	Ⅳ	56.72±6.18^{ab}	41.43±21.04^{de}	20.40±3.56^{ab}	118.55±20.52^{b}	49.39±12.90^{b}	33.03±16.30	17.58±3.98
	Ⅴ	58.23±5.54^{b}	51.90±5.35^{e}	22.03±2.58^{ab}	132.17±13.87^{ab}	44.11±0.87^{ab}	39.23±1.24	16.67±0.97
	Ⅵ	52.48±9.01^{ab}	46.50±5.71^{cbde}	21.03±3.41^{ab}	120.02±15.95^{ab}	43.55±1.74^{ab}	38.85±2.56	17.60±2.30
	Ⅶ	45.28±6.35^{b}	45.05±6.49^{ab}	19.23±1.78^{a}	109.57±10.83^{a}	41.24±3.37^{a}	41.03±2.60	17.73±2.72
	Ⅷ	44.55±4.86^{b}	38.02±3.06^{a}	18.60±1.42^{a}	101.17±7.93^{ab}	43.99±2.42^{ab}	37.59±1.31	18.42±1.20
	Ⅸ	49.68±4.05^{a}	41.82±2.45^{abcd}	18.93±2.19^{a}	110.43±6.75^{ab}	44.98±2.27^{ab}	37.90±1.68	17.12±1.33
主效应 Main effects								

代谢能水平 ME level	高 High	52.24±6.62^{b}	42.42±11.06	20.62±2.90^{ab}	115.28±15.92^{ab}	45.65±5.50	36.25±8.16	18.11±3.08
	中 Medium	55.81±7.10^{b}	46.61±13.08	21.16±3.10^{b}	123.58±17.17^{b}	45.68±7.58	37.04±9.44	17.28±2.59
	低 Low	46.51±5.39^{a}	41.63±5.06	18.92±1.73^{a}	107.06±9.21^{a}	43.40±3.04	38.84±2.42	17.76±1.85
蛋白质水平 Protein level	高 High	52.94±7.86	44.80±12.43	20.83±2.80	118.58±15.57	45.05±8.05	37.20±9.59	17.75±2.66
	中 Medium	49.68±7.94	43.47±7.91	19.88±2.76	113.03±17.28	43.93±1.81	38.38±2.57	17.69±1.69
	低 Low	51.93±6.28	42.39±10.68	19.99±2.81	114.31±14.79	45.75±5.53	36.54±8.05	17.70±3.16
P 值 *P*-value								
代谢能水平 ME level		<0.001	0.298	0.033	0.003	0.379	0.563	0.656
蛋白质水平 Protein level		0.243	0.778	0.484	0.444	0.616	0.753	0.997
代谢能水平×蛋白质 ME level×protein level		0.019	0.167	0.146	0.029	0.140	0.326	0.862

2.6 大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮中适宜代谢能和蛋白质水平

2.6.1 根据二元回归模型估测大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮中适宜代谢能和蛋白质水平

以饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应能显著的检测指标的测量值为因变量（Y），以饲粮代谢能水平为自变量 1（X_1），蛋白质水平为自变量 2（X_2），以 Y=AX_1+BX_2+C 为数学模型进行二元回归分析。由表 8 可知，所得到的关于蛋黄颜色和育成后期 F/G 的线性方程中关于饲粮蛋白质水平均不显著，因此，所得到的二元曲线方程无意义。

表 8 根据二元回归模型估测大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮适宜代谢能和蛋白质水平

Table 8 Dietary optimal ME and protein levels of *Dawufen* No.1 commercial-layer hens in later growing period estimated based on dyadic regression models

估测指标 Estimated parameters	线性回归方程 Linear regression equation	*P* 值 *P*-value		
		常数 Constant	X_1	X_2
蛋黄颜色 Yolk color	Y=-2.333X_1+0.343X_2-27.372 (R^2=0.859)	0.003	0.001	0.154
育成后期料重比 F/G in later stage of growing period	Y=-29.125X_1+683.43X_2-3848.433 (R^2=0.750)	0.011	0.029	0.441

X_1 代表饲粮代谢能水平，X_2 代表饲粮蛋白质水平，Y 代表估测指标。

X_1 represented dietary ME level, X_2 represented dietary protein level, and Y represented estimated parameter.

2.5.2 大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮中适宜代谢能水平

以饲粮代谢能水平为自变量（X），以饲粮代谢能水平能显著影响的检测指标的测量值为因变量（Y），以 Y=AX^2+BX+C 为数学模型建立一元二次回归方程。所得到的关于饲粮代

谢能水平显著的二次回归方程如表 9 所示，结合蛋黄颜色、育成后期 F/G 和 ADFI 以及空肠、十二指肠、小肠长度，得出大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮中适宜代谢能水平为 10.720～11.760 MJ/kg。

表 9　根据一元二次回归模型估测大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮适宜代谢能水平

Table 9　Dietary optimal ME level of *Dawufen* No.1 commercial-layer hens in later growing period estimated based on monodic quadratic regression equation

估测指标 Estimated parameters	二次回归方程 Quadratic regression equation	*P* 值 *P*-value 常数 Constant	*P* 值 *P*-value *X*	适宜代谢能水平 Optimal ME level/(MJ/kg)
蛋黄颜色 Yolk color	Y=0.655X^2-12.265X+60.760 (R^2=0.801)	0.001	0.008	11.760
育成后期料重比 F/G in later stage of growing period	Y=-2.158X^2+46.264X-238.576 (R^2=0.592)	0.022	0.006	10.720
空肠长度 Jejunum length	Y=-25.369X^2+578.602X+3242.964 (R^2=0.604)	0.021	0.044	11.404
十二指肠长度 Duodenum length	Y=-5.411X^2+123.864X-687.594 (R^2=0.464)	0.018	0.015	11.446
小肠长度 Intestine length	Y=-49.263X^2+1120.601X-6248.725 (R^2=0.509)	0.036	0.012	11.374
育成后期平均日采食量 ADFI in later stage of growing period	Y=-33.224X^2+724.405X+3827.66（R^2=0.526）	0.090	0.043	10.902

*X*代表饲粮代谢能水平，*Y*代表估测指标。

X represented dietary ME level, and *Y* represented estimated parameter.

2.5.3 大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮中适宜蛋白质水平

以饲粮蛋白质水平为自变量（*X*），以饲粮蛋白质水平能显著影响的检测指标为因变量（*Y*），以 Y=AX^2+BX+C 为数学模型建立一元二次回归方程。由于拟合得到的蛋鸡育成后期 ADFI 关于饲粮粗蛋白质水平的二次回归方程的拟合度较小，方程预测结果与实际发生情况的吻合度较差，因此，该方程得到的最佳值未能被采用。所得到的关于饲粮蛋白质水平显著的一元二次回归方程如表 10 所示，结合育成后期胫骨长，得出大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮中适宜蛋白质水平为 15.300%。

表 10 根据一元二次回归模型估测大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期饲粮适宜蛋白质水平

Table 10 Dietary optimal protein level of *Dawufen* No.1 commercial-layer hens in later growing period estimated based on monodic quadratic regression equation

估测指标 Response parameter	二次回归方程 Quadratic regression equation	*P* 值 *P*-value		适宜蛋白质水平 Optimal protein level/%
		常数 Constant	*X*	
胫骨长 Tibia length	Y=-0.858X^2+26.254X-95.502 (R^2=0.861)	0.008	0.044	15.300

*X*代表饲粮蛋白质水平，*Y*代表估测指标。

X represented dietary protein level, and *Y* represented estimated parameter.

3 讨 论

3.1 饲粮代谢能和蛋白质水平对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡生长性能的影响

3.1.1 饲粮代谢能水平对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡生长性能的影响

饲粮代谢能水平与动物肠胃道的紧张程度相关，可使消化道中食糜颗粒发生变化，进而

造成胃肠道对饲粮营养物质的消化吸收发生改变。本试验结果表明，随着饲粮代谢能水平的升高，育成后期蛋鸡 F/G、ADFI 逐渐下降，ADG 逐渐升高，与 Guzmán 等[18]、柳迪等[19]、Harms 等[2]、Frikha 等[20]的研究结果相一致。家禽具有因“能”而食的本能，当蛋鸡摄取的能量满足自身的需求时，将会停止采食，因此，随着饲粮中能量水平的升高蛋鸡的采食量下降。

通过二次回归曲线拟合育成后期蛋鸡 ADFI（Y）与饲粮代谢能水平(X)间的关系，得到 Y=-33.224X^2+724.405X+3827.66（R^2=0.526），发现蛋鸡育成后期 ADFI 随着本试验所设的代谢能水平的上升呈下降的趋势，当饲粮代谢能水平达到 10.769 MJ/kg 时，育成后期蛋鸡的 ADFI 达到最大值。

3.1.2　饲粮蛋白质水平对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡生长性能的影响

Halle[21]研究表明饲粮蛋白质水平是影响育成后期蛋鸡采食量的重要因素。本试验结果表明，随着饲粮蛋白质水平的升高，育成后期蛋鸡 ADFI、ADG、F/G 均呈现下降的趋势，与 Baker 等[22]的研究结果不同，与田亚东等[15]、庄宏等[23]的研究结果一致。造成不同的试验结果可能的原因有：蛋鸡生长的环境不同；试验中设计的蛋白质水平的范围不同；蛋鸡的品种不同。胫骨长是评价蛋鸡生长性能的重要指标之一[24]。本试验结果表明，饲粮蛋白质水平对育成后期蛋鸡的胫骨长有显著影响。这表明饲粮蛋白质水平的升高可能有助于钙的沉积，进而促进骨骼生长。通过二次回归曲线拟合育成后期蛋鸡胫骨长（Y）与饲粮蛋白质水平(X)间的关系，得到 Y=-0.858X^2+26.254X-95.502 (R^2=0.861)，发现随着饲粮蛋白质水平的升高胫骨长呈先增加后下降的趋势，当饲粮蛋白质水平为 15.300%时，育成后期蛋鸡胫骨长达到最大值。

3.1.3　饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡生长性能的影响

Moraes 等[25]研究表明种鸡饲粮中代谢能和蛋白质水平的互作效应能显著影响其子代的生长性能。本试验结果表明，饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应能显著影响大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期的 ADFI、ADG、F/G，与 De Persio 等[26]、张敏等[27]的研究结果不同。不同的试验结果可能是因为不同的蛋鸡品种对能量和蛋白质的需求不同。通过建立二元回归方程发现，所检测的指标与饲粮蛋白质水平均没有显著相关性。

3.2 育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平对产蛋高峰期大午粉 1 号商品代蛋鸡生产性能的影响

蛋鸡在育成后期的质量与其产蛋期的生产性能密切相关。本研究结果表明，育成后期饲喂不同代谢能和蛋白质水平饲粮对蛋鸡产蛋高峰期的 ADFI、平均日产蛋量和 F/E 有显著影响，这与 Nahashon 等[13]、Latshaw[28]的研究结果相同，与张敏等[27]的研究结果不同。不同的试验结果可能与蛋鸡的品种有关。Tahmoorespur 等[29]研究发现饲粮代谢能和蛋白质水平对肉种鸡腹部组织脂联素 mRNA 的表达有显著影响。本试验研究表明：Ⅰ组蛋鸡产蛋高峰期的产蛋率低于其他组，可能的原因是Ⅰ组蛋鸡育成期采食高代谢能水平高蛋白质水平饲粮造成蛋鸡腹部脂肪过度囤积，进而导致产蛋高峰期产蛋率下降。

3.3 育成后期饲粮代谢能和蛋白质水平对产蛋高峰期大午粉 1 号商品代蛋鸡蛋品质的影响

蛋黄颜色取决于家禽不能自身合成必须从饲粮中摄入的类胡萝卜素的种类及数量。有研究表明，饲粮中的脂肪含量过高将导致色素的结构变化，进而失去着色功能，但在饲粮中添加 3%~5%的动物脂肪可以提高蛋黄的着色效果[30]。本试验结果表明，育成后期饲喂高代谢能水平饲粮能够提高蛋鸡在产蛋高峰期时的蛋黄颜色。但饲粮中类胡萝卜素的代谢较为迅速，且蛋黄颜色不只受到饲粮的影响，还与蛋鸡的生理状况、生长环境等因素的影响。饲粮中的类胡萝卜素在家禽体内以棕油酸二酯的形式与低密度脂蛋白结合，在小肠被吸收后以游离脂肪酸的形式进入血液循环，并重新以棕油酸二酯的形式在蛋黄中沉积[31]。造成本试验结果

的原因可能是育成后期蛋鸡饲喂不同代谢能水平饲粮导致蛋鸡小肠生理状况发生变化，进而导致产蛋高峰器蛋鸡对类胡萝卜素的吸收利用率不同。

3.4 饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡器官指数的影响

健康的器官对家禽的生长发育、抗病性以及对环境适应能力至关重要，器官指数则反映了家禽的发育情况。本试验结果表明，饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应对育成后期蛋鸡的胰脏重和胰脏指数有显著影响，与多乐等[32]的研究结果保持一致。这说明蛋鸡胰腺的发育受到饲粮中代谢能和蛋白质水平的双重影响。饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应能显著影响育成后期蛋鸡的 ADFI，胰腺分泌的胰液用于消化饲粮中的蛋白质、脂肪和淀粉，随着采食量的增加，胰腺需要分泌更多的胰液以满足蛋鸡对消化营养物质的需要，进而反射性的促进了蛋鸡胰腺的发育。

3.5 饲粮代谢能和蛋白质水平对育成后期大午粉 1 号商品代蛋鸡小肠发育的影响

小肠是家禽消化、吸收营养物质的主要场所同时发挥着重要的免疫功能。本试验结果表明，饲粮代谢能和蛋白质水平的互作效应能显著影响育成后期蛋鸡的空肠和小肠长度。根据二元回归方程分析可知空肠、小肠长度在蛋白质水平上不显著。饲粮代谢能水平对蛋鸡的空肠、十二指肠以及小肠长度有显著影响，与赵向红[33]的研究结果一致，出现这一现象的原因可能是：随着饲粮代谢能水平的降低，蛋鸡的 ADFI 呈上升的趋势，进而促进了肠道的发育。通过二次回归曲线拟合空肠、十二指肠以及小肠长度与饲粮代谢能水平间的关系，分别得到 Y=-25.369X^2+578.602X+3242.964（R^2=0.604）、Y=-5.411X^2+123.864X-687.594（R^2=0.464）和 Y=-49.263X^2+1120.601X-6248.725（R^2=0.509）。后备鸡的消化道发育程度决定其在产蛋期对营养物质的摄入量及吸收程度，当空肠、十二指肠以及小肠长度分别达到最大时，饲粮代谢能水平分别为 11.376、11.414、11.346 MJ/kg。

4 结　论

结合蛋黄颜色、育成后期 ADFI 和 F/G 以及空肠、十二指肠、小肠长度、胫骨长，推荐大午粉 1 号商品代蛋鸡育成后期（10～17 周龄）饲粮代谢能水平为 10.720～11.760 MJ/kg，蛋白质水平为 15.300%。

参考文献：

[1] 杨宁.家禽生产学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2010.

[2] HARMS R H,RUSSELL G B,SLOAN D R.Performance of four strains of commercial layers with major changes in dietary energy[J].The Journal of Applied Poultry Research,2000,9(4):535–541.

[3] ROZENBOIM I,MAHATO J,COHEN N A,et al.Low protein and high-energy diet:a possible natural cause of fatty liver hemorrhagic syndrome in caged White Leghorn laying hens[J].Poultry Science,2016,95(3):612–621.

[4] VAN KRIMPEN M M,KWAKKEL R P,VAN DER PEET-SCHWERING C M C,et al.Low dietary energy concentration,high nonstarch polysaccharide concentration,and coarse particle sizes of nonstarch polysaccharides affect the behavior of feather-pecking-prone laying hens[J].Poultry Science,2008,87(3):485–496.

[5] 杨玉,黄应祥,曹果青,等.能量对蛋鸡卵巢促卵泡素受体 mRNA 表达及产蛋率的影响[J].动物营养学报,2009,21(4):585–591.

[6] 王长平,缪天琳,刘德江,等.蛋白质水平对育成期蛋鸡啄羽和其他行为的影响[J].粮食与饲料工业,2017,12(6):44–45,56.

[7] XUE P C,AJUWON K M,ADEOLA O.Phosphorus and nitrogen utilization responses of broiler chickens to dietary crude protein and phosphorus levels[J].Poultry

Science,2016,95(11):2615–2623.

[8] ROBERTS S A,XIN H,KERR B J,et al.Effects of dietary fiber and reduced crude protein on nitrogen balance and egg production in laying hens[J].Poultry Science,2007,86(8):1716–1725.

[9] FOSOUL S S A S,TOGHYANI M,GHEISARI A,et al.Performance,immunity,and physiological responses of broilers to dietary energy and protein sequential variations[J].Poultry Science,2016,95(9):2068–2080.

[10] 王晓翠,张海军,武书庚,等.不同蛋白来源对京红蛋鸡生产性能及蛋品质的影响[J].中国农业科学,2015,48(10):2049–2057.

[11] 霍启光.降低配合饲料成本的几个途径[J].中国家禽,2008,30(1):27–31.

[12] 宋清华,李勇超.育成期红腹锦鸡适宜蛋白质水平的研究[J].经济动物学报,2009,13(4):237–241.

[13] NAHASHON S N,ADEFOPE N A,AMENYENU A,et al.Effect of varying concentrations of dietary crude protein and metabolizable energy on laying performance of Pearl Grey guinea fowl hens[J].Poultry Science,2007,86(8):1793–1799.

[14] 刘少凯.略阳乌鸡育成期蛋白质需要量的研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学; 2014.

[15] 田亚东,康相涛.9~12 周龄固始鸡的能量和蛋白质需要量研究[J].中国家禽,2004,8(1):145–148.

[16] 李海燕,马竞,张曦,等.高原地区海兰灰蛋鸡育成期能量和蛋白需要量的研究[J].饲料工业,2014,35(15):24–28.

[17] VAN WYHE R C,REGMI P,POWELL B J,et al.Bone characteristics and femoral strength

in commercial toms:the effect of protein and energy restriction[J].Poultry Science,2014,93(4):943–952.

[18] GUZMÁN P,SALDAÑA B,BOUALI O,et al.Effect of level of fiber of the rearing phase diets on egg production,digestive tract traits,and body measurements of brown egg-laying hens fed diets differing in energy concentration[J].Poultry Science,2016,95(8):1836–1847.

[19] 柳迪,赵国先,李树鹏,等.日粮代谢能和粗蛋白质水平对育成期坝上长尾鸡生长性能及血液生化指标的影响[J].饲料工业,2017,38(3):23–27.

[20] FRIKHA M,SAFAA H M,JIMÉNEZ-MORENO E,et al.Influence of energy concentration and feed form of the diet on growth performance and digestive traits of brown egg-laying pullets from 1 to 120 days of age[J].Animal Feed Science and Technology,2009,153(3/4):292–302.

[21] HALLE I.Effect of dietary lysine and methionine supplementation on pullet growth and of dietary protein and energy content on subsequent laying performance[J].Archiv fur Geflugelkunde,2002,66(2):66–74.

[22] BAKER K M,UTTERBACK P L,PARSONS C M,et al.Nutritional value of soybean meal produced from conventional,high-protein,or low-oligosaccharide varieties of soybeans and fed to broiler chicks[J].Poultry Science,2011,90(2):390–395.

[23] 庄宏,张甦寅.低蛋白饲料对育成期海兰褐商品蛋鸡生长性能及血清理化指标的影响[J].中国家禽,2013,35(22):25–27.

[24] 马猛,王克华,曲亮,等.苏禽绿壳蛋鸡部分性状间的典型相关分析[J].中国农学通报,2015,31(2):22–26.

[25] MORAES T G V,PISHNAMAZI A,MBA E T,et al.Effect of maternal dietary energy and

protein on live performance and yield dynamics of broiler progeny from young breeders[J].Poultry Science,2014,93(11):2818–2826.

[26] DE PERSIO S,UTTERBACK P L,UTTERBACK C W,et al.Effects of feeding diets varying in energy and nutrient density to Hy-Line W-36 laying hens on production performance and economics[J].Poultry Science,2015,94(2):195–206.

[27] 张敏,黄玉海,金永才,等.育成期日粮蛋白质和能量水平对农大 3 号节粮小型蛋鸡生长性能及产蛋高峰期产蛋性能的影响[J].饲料工业,2012,33(14):41–44.

[28] LATSHAW J D,ZHAO L.Dietary protein effects on hen performance and nitrogen excretion[J].Poultry Science,2011,90(1):99–106.

[29] TAHMOORESPUR M,GHAZANFARI S,NOBARI K.Evaluation of adiponectin gene expression in the abdominal adipose tissue of broiler chickens:feed restriction,dietary energy,and protein influences adiponectin messenger ribonucleic acid expression[J].Poultry Science,2010,89(10):2092–2100.

[30] 沈曼曼,王莹.影响蛋黄颜色沉积因素分析[J].广东饲料,2014,23(6):43–45.

[31] 黄羽盛.后备期蛋鸡饲料加工形态及添加β-胡萝卜素对肠道发育的影响[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2017.

[32] 多乐,莫子艺,孔鹏,等.不同能量和蛋白质水平日粮对石岐杂鸡免疫器官发育及血液生化指标的影响[J].中国饲料,2011(4):36–38,41.

[33] 赵向红.有效温度与日粮能量及蛋白水平对肉鸡消化功能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2005.

Study on Optimal Dietary Metabolizable Energy and Protein Levels of *Dawufen* No.1 Commercial-Layer in Later Growing Period (10 to 17 Weeks of Age)

ZHANG Meng[1] LI Qiang[2] LIU Ping[3] XU Lijun[4] SU Kun[3] WANG Dehe[1] ZHOU Rongyan[1] CHEN Hui[1*]

（1. *Collage of Animal Science and Technology*, *Hebei Agricultural University*, *Baoding* 071000, *China*; 2. *Collage of Veterinary Medicine*, *Hebei Agricultural University*, *Baoding* 071000, *China*; 3. *Hebei Dawu Farming and Animal Husbandry Group*, *Baoding* 071000, *China*; 4. *Baoding Livestock Husbandry Workstation*, *Baoding* 071000, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary metabolizable energy (ME) and protein levels in later growing period (10 to 17 weeks of age) on growth performance, organ indexes and intestine development of *Dawufen* No.1 commercial-layer, as well as the performance and egg quality of *Dawufen* No.1 commercial-layer during laying peak period, and to obtain the optimal dietary ME and protein levels of *Dawufen* No.1 commercial-layer in later growing period through building regression models of dietary ME and protein levels and testing indexes. The study consisted of two trials. In trial 1: eight hundred and ten 64-day-old *Dawufen* No.1 commercial-layers were randomly divided into 9 groups with 6 replicates per group and 15 layers per replicate. Nine experimental diets were formulated based on 3 [ME level: 11.77 (high), 11.27 (medium) and 10.77 MJ/kg (low)]×3 [protein level: 16.50% (high), 15.50% (medium) and 14.50% (low)] experimental design, to fed layers in the 9 groups. The experiment lasted 8 weeks (10 to 17 weeks of age). In trial 2: maintaining the original grouping，all hens were feed the same diet, which the ME level was 10.91 MJ/kg and the protein level was 15.98%. The experiment lasted 14 weeks (18 to 31 weeks of age). The results of trial 1 showed as follows: 1) dietary ME level had significant effects on average day feed intake (ADFI), feed /gain (F/G) and tibia length of layers （$P<0.05$）; dietary ME level had significant effects on ADFI and tibia length of layers

($P<0.05$); the interaction between energy and protein levels had significant effects on ADFI, average daily gain (ADG) and F/G of layers ($P<0.05$). 2) Dietary energy and protein levels and the interaction between them had no significant effects on organ indexes of layers ($P>0.05$). 3) Dietary ME level had significant effects on the length of jejunum, duodenum and small intestine of layers ($P<0.05$); the interaction between energy and protein levels had significant effects on the length of jejunum and small intestine of layers ($P<0.05$). The results of trial 2 showed as follows: 1) dietary ME and protein levels in later growing period had no significant effects on performance of layers during laying peak period ($P>0.05$), but the ADFI of layers during laying peak period showed a decrease trend with the increase of dietary ME level in later growing period; the interaction between energy and protein levels in later growing period had significant effects on ADFI, average egg production and feed/egg (F/E) of layers during laying peak period ($P<0.05$). 2) Dietary ME level in later growing period had significant effects on yolk color and egg shape index of layers during laying peak period ($P<0.05$); dietary protein level in later growing period had significant effects on yolk color of layers during laying peak period ($P<0.05$); the interaction between energy and protein levels in later growing period had significant effects on eggshell thickness and egg shape index of layers during laying peak period ($P<0.05$). According to quadratic curve estimation of dietary ME level and ADFI, F/G, the length of jejunum, duodenum, small intestine of layers in later growing period and yolk color, the optimal dietary ME level is 10.902, 10.720, 11.404, 11.446, 11.374 and 11.760 MJ/kg, respectively; according to quadratic curve estimation equation of dietary protein level and tibia length, the optimal dietary protein level is 15.300%. Comprehensive consideration, the optimal dietary ME and protein levels of *Dawufen Dawufen* No.1 commercial-layer in later growing

period (10 to 17 weeks of age) are 10.720 to 11.760 MJ/kg and 15.300%, respectively.

Key words: *Dawufen* No.1 commercial-layer; metabolizable energy; protein; requirement; layer growing period; laying peak period